

Т.В. ЧУНІХІНА (м. Харків)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ НЕЛІНІЙНОСТІ УЗАГАЛЬНЕНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ОПЕРАТОРІВ

Статтю присвячено аналізу функціональних реляційно-різницевих моделей (РМ) операторів корекції значень вхідних сигналів. Запропоновано метод оцінювання похибки нелінійності функціональних операторів. Розглянуто приклад розрахунку похибки нелінійності функціональної РМ з урахуванням похибки нелінійності тестової РМ.

The paper is devoted to the analysis of the functional relative-difference models (RM) of the correction of the input signals' values. The method of the estimation of the non-linearity errors of the functional RM is proposed. The example of the calculation of the non-linearity errors of the functional RM with the account of the non-linearity errors of the test RM is given.

Контроль метрологічних характеристик (МХ) вимірювальних перетворювачів (ВП) в реальних умовах експлуатації є актуальною задачею. Особливістю розробки сучасних вимірювально-інформаційних систем є наявність вбудованих систем тестового контролю ВП.

У роботі [1] показано, що визначення оцінки дійсного значення вхідної вимірюваної величини у разі застосування електричних систем тестового контролю ВП відбувається за допомогою безрозмірних операторів корекції значень вхідних сигналів – реляційно-різницевих моделей (РМ).

У роботі [2] вперше введено поняття функціональної РМ, як функції від простих тестових РМ, які, в свою чергу, визначалися як відношення різниць першого порядку (різниця першого порядку розраховувалась для значень вихідних сигналів ВП після дії тестових впливів). Тобто, функціональний оператор корекції має загальний вид:

$$C_{\psi} = F(\psi_1, \psi_2, \psi_i \dots \psi_n),$$

де F – функціональний оператор; ψ_i – i -ті тестові РРМ.

Введення узагальненого функціонального оператора дозволяє розробити єдину методику визначення методичних складових похибки контролю через “прості” оператори та їх метрологічні характеристики.

Реалізація відомих методів тестового контролю ВП передбачає лінеаризацію нелінійної функції перетворення (НФП) в колі або однісі, або двох точок робочого діапазону вимірюваної величини. У зв'язку з цим виникає похибка нелінійності, обумовлена відмінністю дійсного значення вихідного сигналу перетворювача від значення, отриманого шляхом лінеаризації НФП.

У статті розглядається методика розрахунку похибки нелінійності

узагальнених функціональних операторів корекції C_ψ з урахуванням похибки нелінійності тестових РМ, які входять до їх структури. Похибка нелінійності тестових РМ обумовлена похибками нелінійності різниць першого порядку, які виникають при здійсненні тестового контролю.

В роботі [2] було отримано вираз для відносної похибки нелінійності тестової РМ. Розглянемо похибку нелінійності на прикладі простої тестової РМ, яка має вид:

$$\psi_{\text{тест}} = \frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{10}} \quad (1)$$

де $\Delta y_{10} = y_1 - y_0$ – різниця першого порядку, обчислена після дії адитивного тесту θ ; $\Delta y_{20} = y_2 - y_0$ – різниця першого порядку обчислена після дії мультиплікативного тесту kx ; y_0, y_1, y_2 – значення вихідного сигналу ВП у разі дії вимірюваної величини x та тестових впливів: адитивного θ та мультиплікативного kx .

Відносна похибка нелінійності $\psi_{\text{тест}}$ (1) обчислюється так:

$$\delta_{\text{нел.}} \psi_{\text{тест}} = \delta_{\text{н1}} - \delta_{\text{н2}}, \quad (2)$$

де $\delta_{\text{н1}}$ – похибка нелінійності визначення різниці 1-го порядку Δy_{20} ; $\delta_{\text{н2}}$ – похибка нелінійності визначення різниці 1-го порядку Δy_{10} .

Абсолютна похибка нелінійності різниці 1-го порядку дорівнює:

$$\Delta_{\text{нел}} (\Delta y_{10}) = - \left[\sum_{i=2}^n \frac{1}{i!} y^i(x) \cdot \theta^i \right]$$

Оцінення похибки нелінійності функціональних операторів, побудованих із розрахункових співвідношень для відомих способів тестового контролю ВП, проводилося з використанням методики [3] оскільки, у загальному випадку, функціональний оператор має нелінійну форму зв'язків моделей ψ_i . Абсолютна похибка нелінійності C_ψ визначається за формулою:

$$\Delta_{\text{нел}} C_\psi = \sum_{i=1}^n \frac{\partial C_\psi}{\partial \psi_i} \Delta_{\text{нел}} \psi_i$$

де $\Delta_{\text{нел}} \psi_i$ – абсолютна похибка нелінійності тестової РМ ψ_i .

Розрахунок похибки нелінійності функціональних операторів проведемо на прикладі оператора $C_\psi = \psi_3 \frac{(1+\psi_1)(1-\psi_2)^2}{(1+\psi_2)(1-\psi_1)^2}$, який дозволяє зна-

ходити оцінку дійсного значення вимірюваної температури у разі реалізації тестових процедур, передбачених запатентованим автором спо-

способом бездемонтажного контролю термоелектричних перетворювачів (ТЕП).

Вираз для відносної похибки нелінійності C_ψ має вид:

$$\delta_{\text{нел}} C_\psi = \frac{(3+\psi_1)}{(\psi_1^{-1}-\psi_1)} \cdot \delta_{\text{нел}} \psi_1 + \frac{(-3+2\psi_2+\psi_2^2)}{(\psi_2^{-1}-\psi_2)(1-\psi_2)} \cdot \delta_{\text{нел}} \psi_2 + \delta_{\text{нел}} \psi_3 \quad (3)$$

Для термопар градування ХА і ХК розрахунковим шляхом з використанням математичного редактора “Mathcad 2000 Professional” були отримані лінійні наближення значень вихідного сигналу ТЕП після дії тестів, розраховані похибки нелінійності різниць першого порядку при лінійній апроксимації ФП. Крім того, для термопар градування ХК було визначено оцінку похибки нелінійності різниці першого порядку у квадратичному наближенні і похибку оцінення похибки нелінійності квадратичним наближенням. Вказані розрахунки були виконані для трьох точок робочого діапазону: $T_x = 300^0 C$ (відповідна номінальна точка $T_\phi = 320^0 C$), $T_x = 500^0 C$ (номінальна точка $T_\phi = 530^0 C$), $T_x = 700^0 C$, (номінальна точка $T_\phi = 740^0 C$). Було розглянуто 3 варіанти співвідношення тестових впливів на перетворювач: 1) θ і kx (однополярні, різні за значенням); 2) θ і kx (різнополярні, різні за значенням); 3) θ_1 і θ_2 , $|\theta_1| = |\theta_2|$ (різнополярні, однакові за значенням).

Проведемо розрахунок похибки нелінійності досліджуваного функціонального оператора за таких вихідних даних: $T_x = 300^0 C$, $T_\phi = 320^0 C$; $+\theta = 10^0 C$, $-\theta = -7^0 C$; термопара градування ХК.

Після підстановки значень похибок нелінійності різниць першого порядку в формулу (2) отримаємо такі результати:

$$\delta_{\text{нел}} \psi_1 = -0,17 - (-0,23) = 0,06\%$$

$$\delta_{\text{нел}} \psi_2 = -0,17 - (-0,12) = -0,05\%$$

$$\delta_{\text{нел}} \psi_3 = -0,23 - (-0,12) = 0,11\%$$

Отримані відносні значення похибок нелінійності тестових РМ ψ_1, ψ_2, ψ_3 підставимо в (3), прийнявши $\psi_1 = \psi_2 = 0,1$ та $\psi_3 = 0,9$:

$$\delta_{\text{нел}} C_\psi = 0,14\%$$

На рисунку 1 показані графіки похибки нелінійності функціонального оператора для трьох значень температур: $T_x = 300^0 C$, $T_x = 500^0 C$,

$T_x = 700^0 C$. В таблиці 1 наведені значення співвідношень тестів для кожного діапазону температур.

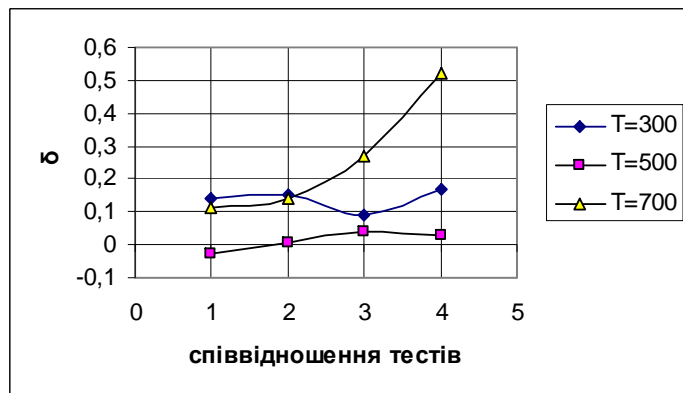


Рис. 1. Графіки похибки нелінійності оператора C_ψ для трьох точок робочого діапазону

Таблиця 1

Номер точки по осі абсцис	Співвідношення тестів		
	$T_x = 300^0 C$	$T_x = 500^0 C$	$T_x = 700^0 C$
1	10/-7	20/-10	20/-10
2	20/-10	30/-20	30/-20
3	40/-30	40/-30	40/-25
4	60/-45	50/-40	60/-45

Проведені дослідження вказують на залежність похибки нелінійності функціональних операторів від робочої точки, в колі якої здійснюються тестові впливи, значень тестів та співвідношення тестів (мінімальне значення похибки нелінійності C_ψ спостерігається для випадку реалізації різнополярних, однакових за значенням тестів).

Список літератури: 1. Кондрашов С.І. Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах/ монографія – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – 224 с. 2. Кондрашов С.І., Чуніхіна Т.В. Аналіз задач підвищення точності нелінійних вимірювальних перетворювачів// Вісник НТУ “ХПІ”.–№ 38.–2005.– С.69-72. 3. МИ 2083 – 90. Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендация. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценка их погрешностей.

Надійшла до редколегії 20.11.07